

УДК 537.622; 669.018.292

**Е. А. Путилова^{1*}, С. М. Задворкин¹, Э. С. Горкунов¹, И. Н. Веселов²,
И. Ю. Пышминцев²**

¹ ИМАШ УрО РАН, г. Екатеринбург

² РосНИТИ, г. Челябинск

**tuevaevgenya@mail.ru*

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НЕФТЕГАПРОМЫСЛОВОЙ ТРУБНОЙ Cr–Mo СТАЛИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОЙ В КИСЛОЙ СРЕДЕ

Представлены результаты исследования структуры, механических, магнитных свойств экономнолегированной стали для нефтегазопромысловых труб, к которым предъявляются требования обеспечения повышенной прочности и стойкости к сульфидному растрескиванию под напряжением (СНР). Установлены параметры, которые в дальнейшем могут быть использованы при разработке методик неразрушающей диагностики состояния элементов конструкций из подобных материалов в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: трубная сталь нефтяного сортамента, структура, механические свойства, сероводородсодержащая среда, магнитные характеристики

**E. A. Putilova, S. M. Zadvorkin, E. S. Gorkunov, I. N. Veselov,
I.Yu. Pyshmintsev**

STRUCTURE AND PROPERTIES OF OCTG PIPE CR–MO STEEL INTENDED FOR OPERATING IN SOUR ENVIRONMENT

The paper presents the results of the study of microstructure, mechanical and corrosion properties of the economically alloyed Fe–Cr–Mo steel, designed for the production of OCTG to which the requirements are to provide increased strength and resistance to sulfide stress cracking (SSC) at the same time. The parameters that could be used for non-destructive testing methods developing to estimate the current state of structural elements during the operation conditions were established.

Key words: pipe OCTG steel, structure, mechanical properties, hydrogen sulfide environment, magnetic parameters

В нашей стране разведано значительное количество месторождений нефти и газа, в том числе сосредоточенных в Арктической зоне. Однако, если нефть залегает на глубинах 2000...3000 м, то природный газ накапливается на больших глубинах и зачастую содержит существенные количества агрессивных примесей, в том числе сероводорода и диоксида углерода [1–3]. По мере увеличения глубины залегания углеводородов к материалам для обустройства скважин предъявляются требования все более высокой прочности в сочетании со стойкостью к воздействию агрессивных сред. Однако известно, что чем выше прочность стали, тем выше склонность к сульфидному растрескиванию под напряжением (СРН). В этом и заключается основная сложность при создании сталей данного класса [2; 4]

Стойкость стали к воздействию сероводородсодержащих сред обеспечивается в результате формирования дисперсной (мелкозернистой) однородной структуры с равномерно распределенными карбидами и, по возможности, низкой плотностью дислокаций. С точки зрения стойкости к СРН дисперсионное упрочнение предпочтительнее дислокационного, поскольку дислокации имеют повышенную способность улавливать и удерживать водород [1; 2], что может привести к охрупчиванию материала.

Благодаря правильно подобранному химическому составу и уровню микролегирования, а также режиму термической обработки, в результате получена сталь с уровнем механических свойств, соответствующих трубным сталям класса прочности C110 [5] ($\sigma_0,2 = 805$ МПа, $\sigma_B = 840$ МПа, $\delta = 13,6\%$, $\psi = 41\%$, HV 0,05 300).

Структура представляет собой мелкодисперсный сорбит отпуска (рис. а, б) с размером зерен около 5...10 мкм. При этом частицы карбидной фазы, имеющие преимущественно глобулярную форму, располагаются как по границам, так и в теле зерен. Размер этих частиц не превышает 300 нм. По результатам проведенного EBSD-анализа построена карта разориентировок зерен исследованной стали класса прочности C110 (рис., в).

Испытание трубной продукции групп прочности C110 на стойкость к СРН проводили по стандарту NACE TM0177 [6] по методу А, суть которого заключается в одновременном воздействии на образец растягивающей нагрузки и агрессивной среды, содержащей сероводород. Результаты испытаний СРН показали, что образцы, отобранные из промышленной партии обсадных труб, изготовленные из опытной

низколегированной хромомолибденовой стали, обладают требуемой стойкостью к СРН, что соответствует требованиям ГОСТ 31446–2017 [5] для продукции групп прочности С110.

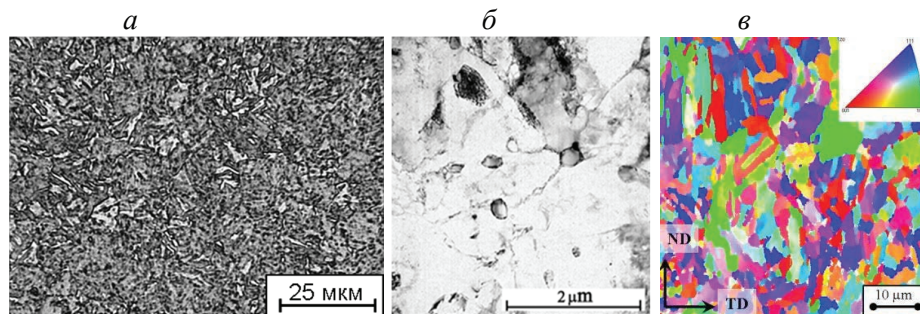


Рис. Микроструктура и EBSD-карта разориентировок образца, отобранного от обсадной трубы группы прочности С110, изготовленной из малоуглеродистой низколегированной хромомолибденовой стали после окончательной термической обработки

С целью определения информативных параметров, которые могли бы быть использованы для осуществления контроля напряженно-деформированного состояния труб в процессе эксплуатации, проводили определение магнитных характеристик не только в исходном состоянии, но и в процессе нагружения образца. Было установлено, что остаточная индукция может быть использована в качестве информативного параметра для контроля напряженного состояния исследованного материала в упругой области. Магнитные характеристики могут также быть использованы для определения перехода материала в стадию развитой пластической деформации.

Исследования выполнены в рамках работы по стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-150.2018.1. При выполнении работы использовано оборудование ЦКП «Пластометрия».

Литература

1. Новые разработки высокопрочных коррозионностойких труб для сред, содержащих сероводород / И. Ю. Пышминцев [и др.] // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2016. № 5 (57). С. 26–31.

2. Omura T. Numata M., Ueda M. Super-high strength low alloy steel OCTG with improved sour resistance // Ferrum Bulletin of the Iron and Steel Institute of Japan. 2009. № 9. С. 575–579.

3. Effect of microstructure and crystallography on sulfide stress cracking in API-5CT-C110 casing steel / M. Liu [et al.] // Material science and Engineering A. 2016. V. 671, P. 244–253.

4. Пумпянский Д. А. Пышминцев И. Ю., Фарбер В. М. Методы упрочнения трубной стали // Сталь. 2005. № 7. С. 67–74.

5. ГОСТ 31446–2017. Трубы стальные обсадные и насосно-компрессорные для нефтяной и газовой промышленности. Общие технические условия. М.: Стандартинформ. 2017.

6. ANCI/NACE TM0177 Standard Test Method. Laboratory tests of metals for resistance to sulfide stress cracking and stress corrosion cracking in H₂S containing media. NACE International. 2016.